



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Tilsyneladende forbelastning af Eem jordarter

Thorsen, Grete; Thomsen, B; Thorsen, S.

Published in:

Proceedings of the XII Nordic Geotechnical Conference : NGM-96

Publication date:

1996

Document Version

Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Thorsen, G., Thomsen, B., & Thorsen, S. (1996). Tilsyneladende forbelastning af Eem jordarter. I S. Erlingsson, & H. Sigursteinsson (red.), *Proceedings of the XII Nordic Geotechnical Conference : NGM-96: Reykjavik, 26-28 june, 1996* (Bind 1, s. 147-152). Icelandic Geotechnical Society.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

NGM-96 • VOLUME 1 • ARTIKLER

XII Nordiska Geoteknikermötet

REYKJAVÍK 26.-28. JUNI 1996



JARÐTÆKNIFÉLAG ÍSLANDS

ICELANDIC GEOTECHNICAL SOCIETY

Gutierrez

NGM-96 • REYKJAVÍK 26.-28. JUNE 1996
VOLUME 1 • TECHNICAL PAPERS

XII Nordic Geotechnical Conference

Interplay between Geotechnics and Environment



Editors:

Sigurður Erlingsson • Haraldur Sigursteinsson

JARÐTÆKNIFÉLAG ÍSLANDS
ICELANDIC GEOTECHNICAL SOCIETY

Tilsyneladende forbelastning af Eem jordarter

Grete Thorsen

Aalborg Universitet, Aalborg, Danmark

Bitten Thomsen

Nellemann, Nielsen og Rauschenberger A/S, Aalborg, Danmark

Sten Thorsen

Thorsen Geoteknik, Aalborg, Danmark

SYNOPSIS: Denne artikel indeholder resultater af bearbejdninger af en række konsolideringsforsøg med ler-, tørve- og gytjeflejringer fra Eem interglacialtid og Rodebæk-Brørup interstadialtider. Formålet med bearbejdningen har været dels at sandsynliggøre, at Moust Jacobsens krybningsmodel for lettere forbelastet moræneler kan anvendes for de aktuelle jordarter, dels ved hjælp af denne model at vurdere, om de ved forsøgene konstaterede tilsyneladende forbelastninger af materialet kan være opnået alene ved krybning siden aflejringstidspunktet. Resultater fra sætningsobservationer gennem 8 år af en bygning funderet over interglaciale tørve- og gytjeflejringer er sammenholdt med resultater af konsolideringsforsøg ved brug af ovennævnte model.

1. INTRODUKTION

Nyere undersøgelser vedrørende isfremstødene i Weichsel udført af Gunnar Larsen og Christian Kronborg (1994) tyder på, at det første isfremstød, Norske is, har dækket hele Vest- og Midtjylland og også, at det næste isfremstød, Gammelbalten (alder ca. 70.000 år), har dækket store dele af Midtjylland.

Ud fra disse teorier har alle interglaciale og interstadiale aflejringer i Vest- og Midtjylland været dækket af iskapper. På baggrund af disse oplysninger er samlet og sammenholdt resultater fra en række konsolideringsforsøg, som gennem de senere år er udført på prøver fra Jylland af ler, tørve- og gytjeflejringer, der er aldersbestemt til Eem interglacial (alder ca. 120.000 år) eller geologisk bedømt til Eem eller interstadialt, Rodebæk-Brørup (alder ca. 100.000 år). Prøvelokaliteterne ses på fig. 1.

Resultaterne af de ud fra konsolideringsforsøgene fundne tilsyneladende forbelastninger er sammenlignet for at vurdere, om der derved kan tegne sig et billede af mulige årsager til de tilsyneladende forbelastningsspændinger for prøverne fra området udenfor Weichselisens hovedopholdslinie.

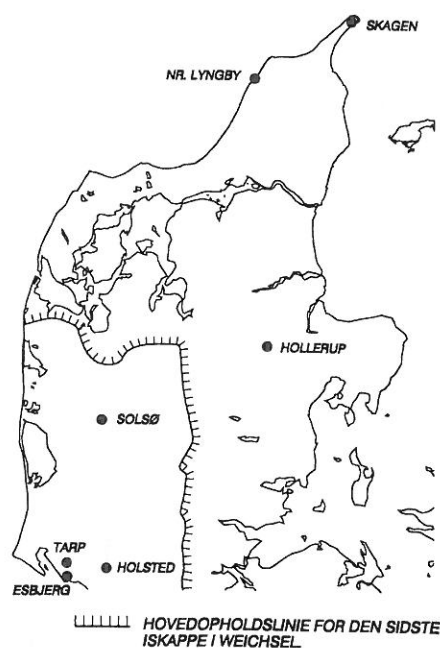


Fig. 1. Aktuelle prøvelokaliteter.

Det har været hensigten, at vurdere om den af Moust Jacobsen (1992) opstillede krybningsmodel for lettere forbelastet moræneler også synes anvendelig for ler- og organiske materialer, således at den kan bruges til at vurdere

de opnåelige tilsyneladende forbelastnings-spændinger ved krybning alene, ligesom modellen er søgt anvendt på resultater af foreliggende sætningsobservationer.

2. PRØVEMATERIALE

Fra Skagen foreligger resultatet af et konsolideringsforsøg med Eem ler fra kote -178. De overliggende sedimenter består af 64 m fra Weichsel og Senweichsel samt 114 m fra Holocæn. (Thorsen, 1995).

Fra et forskningsprojekt ved Nørre Lyngby foreligger resultatet af et konsolideringsforsøg udført på Eem ler fra kote -65. De overliggende sedimenter består af ca. 45 m fra Weichsel og Senweichsel samt ca. 20 m fra Holocæn (Seidenkrantz et al., 1995).

Fra Midtjylland foreligger resultater af 2 konsolideringsforsøg med Eem ler fra Hollerup og 2 konsolideringsforsøg med Eem ler og gytje fra Solsø. I Hollerup er prøverne optaget i en lergrav, laget var oprindeligt overlejret af ca. 10 m sedimenter fra Weichsel. I Solsø er Eem aflejringen overlejret af 4 m sedimenter fra Weichsel og 1 m fra Holocæn. (Thorsen 1996).

I forbindelse med motorvejsprojekter ved Tarp og Holsted foreligger en del konsolideringsforsøg udført på prøver af tørve- og gytjeaflejringer, som geologisk er bedømt til Eem eller interstadialt. Lagene er overlejret af 1 - 4 m sedimenter fra Senweichsel og Holocæn.

I Esbjerg er opført en bygning, der er funderet over moseaflejringer fra Eem. Sætningsforløbet for denne konstruktion er fulgt over en periode, og resultaterne herfra er sammenholdt med resultaterne af konsolideringsforsøg. I de udførte borer er over moseaflejringerne truffet ca. 6 m sand og ca. 4 m komprimeret sandfyld. Fyldlaget stammer fra en udskiftning af ca. 2 m postglaciale moseaflejringer samt en terrænregulering.

Alle konsolideringsforsøgene er udført i det danske konsolideringsapparat, som er udstyret med en flydende ring for at minimere sidefriktion under forsøget (Moust Jacobsen, 1967).

3. TILSYNELADENDE FORBELASTNING

3.1 Moust Jacobsens krybningsmodel.

Moust Jacobsen (1992) har foreslået følgende udtryk til beregning af krybning:

$$\varepsilon_{cr} = Q_s \log (1 + (t/t_b)) \quad (1)$$

og ved krybning under konstant belastning fra tiden t_A til tiden $t_A + t$

$$\varepsilon_{cr} = Q_s \log (1 + (t/t_A + t_b)) \quad (2)$$

Q_s = krybningsindeks, $Q_s = d\varepsilon_{cr}/d\log t$, hvor ε_{cr} er krybningsstøjningen for materiale i normalkonsolideret tilstand.

t = den forløbne tid

t_A = materialets krybealder

t_b = en referencetid

En antagelse om $\varepsilon_{cn} = \varepsilon_{cr} + \varepsilon_{cg}$, hvor

$\varepsilon_{cn} = Q \log (\sigma'_{pc} / \sigma'_A) =$ tøjning i normalkonsolideret tilstand ved belastning fra den aktuelle spænding σ'_A til den tilsyneladende forbelastningsspænding, σ'_{pc} .

$\varepsilon_{cr} = Q_s \log (1 + (t_A/t_b)) =$ krybning i tiden t_A

$\varepsilon_{cg} = (\sigma'_{pc} - \sigma'_A)/K =$ tøjning ved genbelastning fra σ'_A til σ'_{pc} .

fører til følgende udtryk til beregning af forkonsolideringsgraden:

$$OCR = \frac{\sigma'_{pc}}{\sigma'_A} = (1 + \frac{t_A}{t_b})^\alpha \exp(\frac{2.3(\sigma'_{pc} - \sigma'_A)}{QK}) \quad (3)$$

hvor $\alpha = Q_s / Q$

3.2 Modellen anvendt på forsøgsresultater.

Ud fra (2) kan krybningsstøjningen beregnes for hvert belastningstrin i et konsolideringsforsøg, og konsolideringstøjninger og krybningsstøjninger kan separeres, såfremt Q_s og t_b er kendt.

Ved den belastning, hvor forbelastningsspændingen overskrides reduceres krybealderen, t_A , til 0, hvilket fører til, at t_b er den krybealder, der opnås under konsolideringsprocessen ved en belastning, hvor den tilsyneladende forbelastningsspænding overskrides. Analyse af en del tidskurver, hvor den

tilsyneladende forbelastningsspænding overskrides og Q_s er konstant, viser en krybealder af samme størrelse som den beregnede konsolideringstid for $U \sim 89\%$.

På fig. 2 er vist målte tidskurver for en gytjeflejring fra Esbjerg (36/28a). Dels en primærkurve for spændingsintervallet fra 126 kPa til 250 kPa, en genbelastningskurve for spændingsintervallet 180 til 250 kPa, samt en tidskurve for spændingsintervallet fra 250 til 533 kPa.

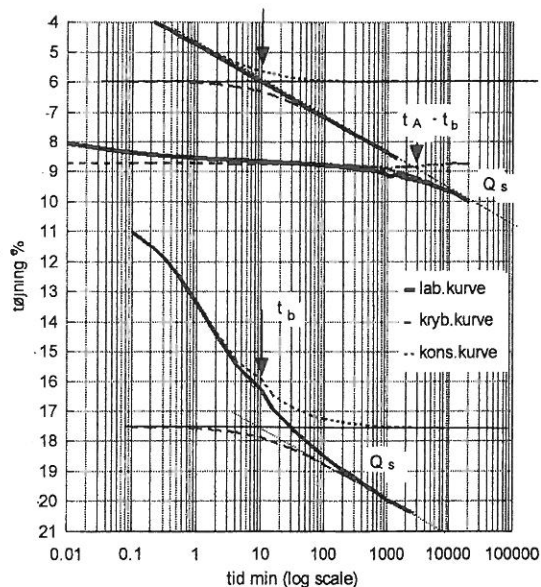


Fig. 2. Tidskurve for $\sigma' > \sigma'_{pc}$ ($t_A = 0$, $t_b = 10$ min) og for genbelastning ($t_A + t_b = 2000$ min.).

Ved aflastning forøges krybealderen væsentligt. Materialet sveller, men efter en periode overlejres svelletøjningerne af krybningstøjninger. Fig. 3 viser en tidskurve for samme prøve ved aflastning fra 250 kPa til 180 kPa.

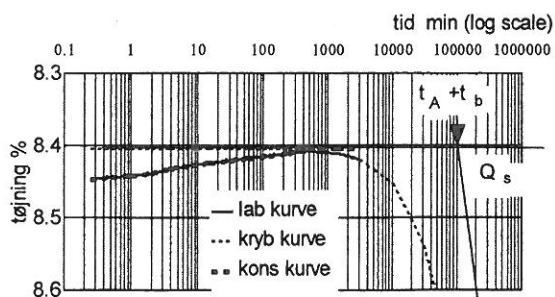


Fig. 3. Tidskurve ved aflastning fra 250 kPa, ($t_A + t_b \sim 100.000$ min.).

Ud fra tidskurverne er bestemt Q_s , krybekurver er indlagt, konsolideringskurven beregnet og t_A og t_b bestemt.

Fratrækkes krybningen for hvert belastningstrin i et konsolideringsforsøg kan arbejdskurven ($\epsilon - \log \sigma'$) for materialet bestemmes.

Arbejdskurven for genbelastningsgrenen viser en tilsyneladende forbelastningsspænding på 300 kPa og

$$\epsilon_{cn} = \epsilon_{cr} + \epsilon_{cg} \quad (\text{se fig. 4})$$

og det af Moust Jacobsen opstillede udtryk (3) til beregning af den opnåede forbelastningsgrad giver et godt resultat.

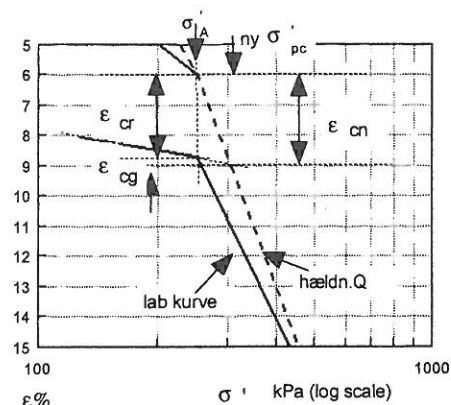


Fig. 4. Udsnit af arbejdskurve med genbelastningsgren. (Esbjerg 36/28a).

3.3 Bestemmelse af forbelastningsgrad

På side 4 er angivet resultaterne af de udførte konsolideringsforsøg og de derudfra fundne værdier for OCR.

Anvendes i (3) en krybealder svarende til aflejringens geologiske alder indebærer det en antagelse om, at krybealderen ikke er nedsat siden aflejringstidspunktet, og de derved beregnede OCR-værdier angiver derfor de maksimalt opnåelige ved krybning alene.

Enhver ny belastning vil reducere krybealderen t_A . Ud fra kendskabet til jordartens egenskaber, dens geologiske alder, den geologiske belastningshistorie på stedet samt drænvejsforholdene, skulle det således ud fra (3) være muligt at beregne, om den ved forsøgene fundne tilsyneladende forbelastning alene kan være fremkommet som følge af krybning i materialerne, eller om andre processer også må have medvirket

	jordart	w %	σ'_o kPa	fra konsolideringsforsøg			OCR	beregnet ren krybning
				Q %	Q _s %	σ'_{pc} kPa		OCR _b
SKAGEN	ler	27.2	1750	14	0.6	~5000	~2.8	~1.2
NØRRE LYNGBY	ler	27.4	650	17	1.0	~4700	~7.2	~1.3
HOLLERUP 1	ler	63.8	~200	20	1.2	~1400	~7	~2
HOLLERUP 2	ler	67.2	~200	20	1.2	~1400	~7	~2
SOLSØ 13	ler	56.7	~60	22	0.6	~250	~4	~1.6
SOLSØ 17	gytje	77.7	~70	32	1.4	~800	~10	~1.7
HOLSTED								
1077	tørv	254	30	36	2	~450	>10	~3.2
1895	gytje	254	50	35	2.2	>400	>8	~3.2
1897	gytje	63.4	50	26	1.3	>400	>8	~2
TARP								
J32a	tørv	57.8	50	32	1	~600	>10	~2
J32b	tørv	70.4	50	26	1.2	~500	~10	~3
J72	tørv	83.2	30	29	1	~150	~5	~2.2
2005	gytje	43.3	30	19	0.6	~250	~8	~2
2024a	gytje	37.2	30	16	0.4	~150	~5	~1.8
2024b	gytje	41.6	30	18	0.6	~140	~5	~2.1
2034	gytje	37.4	30	18	0.4	~125	~4	~1.7
2046	gytje	40.2	30	16	0.4	~200	~7	~1.7
ESBJERG								
36/28a	gytje	95	~124	34	1.2	~200	~1.6	<1.3
36/28b	gytje	111	~125	32	1.4	~200	~1.6	<1.3
36/31	gytje	142	~127	44	1.5	~700	~5.5	<1.2
37/21	gytje	196	~108	47	1.6	~500	~4.6	<1.3
38/24	gytje	88	~125	20	0.7	~250	~2	<1.4
38/25	gytje	131	~127	32	1.1	~200	~1.6	<1.3

Ved Skagen kendes alderen af sedimenterne. De øverste 114 m er aflejret inden for de sidste 10.000 år, de øverste 30 m inden for de sidste 1000 år (Conradsen et al. 1995). Den krybealder aflejringen herudfra ville have haft været benyttet ved den i skemaet side 4 beregnede værdi, OCR_b, som angiver den forbelastningsgrad, som materialet ville have haft ved krybning alene.

For de øvrige lokaliteter er beregnet en krybealder ud fra de skønnede aflejringsalder på grundlag af prøvernes geologiske betegnelser. De angivne σ'_o værdier for Esbjerg prøverne svarer til situationen efter blødbundsudskiftningen.

Ud fra disse resultater må det konkluderes, at de konstaterede forbelastningsspændinger

ikke kan være opnået ved krybning alene. Andre processer må have medvirket for at skabe en forkonsolideringsgrad som konstateret ved konsolideringsforsøgene.

Skagen, Nørre Lyngby og Hollerup ligger indenfor hovedopholdslinien, og prøverne herfra bør naturligt vise forbelastning fra Weichselisen.

Den konstaterede forbelastning i de organiske lag fra området udenfor hovedopholdslinien varierer meget selv indenfor ganske lille afstand i en aflejring, der tilsyneladende tilhører samme aflejringsserie. Det må derfor nok antages, at omdannelsesprocesser i de organiske aflejringer spiller en ikke uvæsentlig rolle i forbindelse med de konstaterede forbelastningsspændinger.

4. ESBJERG. SÆTNINGER

I fire af de 6 udførte forsøg er fundet en forbelastningsspænding på 200 - 250 kPa. Den totale belastning fra udskiftning, terrænregulering og bygning har betydet en spændingsforøgelse i gytjelaget på 40- 80 kPa, svarende til en effektiv spænding på op til 180 kPa, dvs til en værdi, der er meget nær den ved forsøgene fundne forbelastningsspænding.

Under dele af byggeperioden har grundvandssænkninger resulteret i tillægsspændinger af størrelsesordenen 20 kPa.

Ved supplerende grundvandssænkning samt ved opfyldning af sandfangsanlægget med vand til så højt niveau som muligt i en periode inden sandfangets færdiggørelse blev det tilstræbt at få overstået alle konsolideringssætninger inden anlæggets ibrugtagning.

4.1 Sætningsberegninger

De effektive spændinger efter konstruktion og opfyldning varierer fra ca. 140 kPa til ca. 180 kPa. Mægtigheden af de organiske lag varierer fra ca. 1 til ca. 4 m.

Under den del af sandfanget, der er nærmest ved boring 36 er den effektive slutspænding beregnet til 140 kPa.

Med følgende data fra boring 36:

σ'_{pc} = 200 kPa
 Q = 33 %
 Q_s = 1.35 %
 K = 3500 kPa
 c_k = 2×10^{-6} m²/sec
 Lagtykkelse = 3 m, drænvej = 1.5 m
 fås t_b = 10 dage
 og herefter får ved indsættelse i (3):

$$\frac{200}{140} = \left(1 + \frac{t_A}{t_b}\right)^{0.04} \exp\left(\frac{2.3(200-140)}{0.33 \times 3500}\right)$$

$$\frac{t_A}{t_b} = 375, \text{ hvilket svarer til } t_A \sim 3750 \text{ dage.}$$

4.2 Sætningsobservationer.

Sætningsobservationer startede i oktober 1988. Resultaterne er vist på fig. 5. Efter ca. 90 dage fyldtes sandfanget. Efter ca. 130 dage standsede grundvandssænkningen. Efter ca. 200 dage blev sandfanget tømt og færdiggjort, og

derefter fyldt til driftniveau inden anlæggets ibrugtagning efter ca. 260 dage.

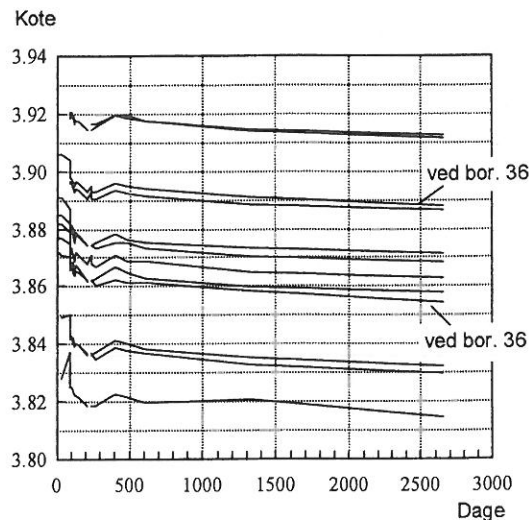


Fig. 5. Sætningsobservationer omkring sandfangsbygningen.

Sætningerne af de 2 observationspunkter, der ligger nærmest ved boring 36 er optegnet på fig. 6 i forhold til log tid.

For en lagtykkelse på 3 m og $Q_s = 1.35$ % er for forskellige værdier for t_A ($t_b \ll t_A$) beregnet krybekurver efter (2):

$$\epsilon_{cr} = 1.35 \log(1 + t/t_A)$$

På fig. 6 er indtegnet krybekurver for $t_A = 400, 4000$ og 40.000 dage.

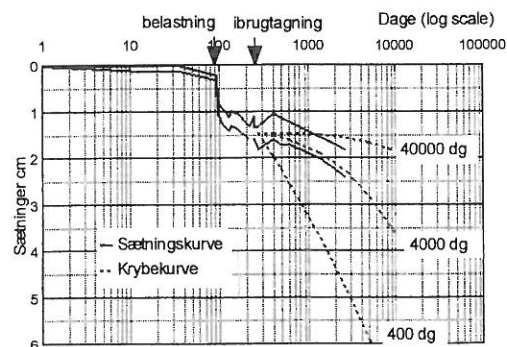


Fig. 6. Observerede sætningskurver ved sandfangsbygningen og indlagte krybekurver.

Den beregnede krybealder af Ecm aflejringerne ved byggeriets ibrugtagning er således i god overensstemmelse med den krybealder, der bestemmes ud fra sætningsobservationerne.

5. KONKLUSION

Analyse af en række arbejds- og tidskurver viser, at den af Moust Jacobsen opstillede krybningsmodel for lettere forbelastet moræneler også synes at kunne anvendes på andre lertyper og på organiskholdige materialer.

Anvendelse af krybningsmodellen på en række konsolideringsforsøg udført med prøver fra Eem interglaciertid og Rodebæk-Brørup interstadialtider viser, at den ved forsøgene fundne forkonsolideringsspenning såvel for prøver udtaget indenfor som udenfor Weichselisens hovedopholdslinie er større end den tilsyneladende forkonsolidering, der kan opnås ved krybning alene.

For prøverne udtaget indenfor hovedopholdslinien kan de fundne forbelastningsspenninger umiddelbart forklares som konsekvens af isbelastningen

For prøverne udtaget udenfor hovedopholdslinien kan de fundne forbelastningsspenninger derimod ikke umiddelbart bekræfte, at også Vest- og Midtjylland har været isdækket i Weichsel. I de fleste boreriger er der således indenfor korte intervaller fundet store forskelle i forkonsolideringsspenningerne, og det må derfor antages, at f. eks. organisk omdannelse spiller en ikke uvæsentlig rolle for aflejringernes sætnings-egenskaber.

Anvendelse af krybningsmodellen på Eem aflejringer under en bygning i Esbjerg viser god overensstemmelse med udførte sætningsobservationer.

6. TAK

Forfatterne takker Vejdirektoratet og Esbjerg kommune for tilladelse til at publicere forsøgsresultater og endvidere Esbjerg kommune for velvilligt at have udført et nivellerment før egentlig planlagt.

7. REFERENCER

- Conradsen, K. & Nielsen, S.H. (1995). Holocene paleoceanography and paleoenvironments of the Skagerak - Kattegat, Scandinavia. *Paleoceanography*. Vol. 10, no. 4, pp. 801-803.
- Larsen, G. & C. Kronborg, 1994. *Geologisk set. Det mellemste Jylland. En beskrivelse af områder af national geologisk interesse*. Geografforlaget. Miljøministeriet. Skov- og Naturstyrelsen.
- Moust Jacobsen, H. 1967. *Morænelers geotekniske egenskaber*. Ph.D.-thesis 1967. Reprinted 1994. Aalborg Universitet.
- Moust Jacobsen, H. 1992. Karakteristiske belastningstilstande for moræneler. *Proc. NGM-92*, Aalborg, Dansk Geoteknisk Forening, Bulletin 9, Vol. 2, pp. 461 - 466.
- Seidenkrantz, M.S., Kristensen, P. and Knudsen, K. L. 1995. Marine evidence for climatic instability during the last interglacial in shelf records from northwest Europe. *Journal of Quaternary Science*, Vol. 10, pp. 77 - 82.
- Thorsen, G. 1995. The Skaw Spit - a question of settlements. *Proc. XI ECSMF, DGF-bulletin 11*, vol. 3. pp. 263 - 268.
- Thorsen, G. 1996. Oedometer tests - an aid in determination of the geological load history (unpublished).